



Bæredygtig opvarmning, køling og ventilation af et plusenergihus

Olesen, Bjarne W.; Kazanci, Ongun Berk

Published in:
H V A C Magasinet

Publication date:
2013

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Olesen, B. W., & Kazanci, O. B. (2013). Bæredygtig opvarmning, køling og ventilation af et plusenergihus. *H V A C Magasinet*, (7), 20-26.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Bæredygtig opvarmning, køling og ventilation af et plusenergihus

For at et hus er attraktivt for kunderne skal forskellige egenskaber som æstetik, energi effektivitet, bæredygtighed og pris vurderes. Den internationale studenterkonkurrence, Solar Decathlon, indeholder disse egenskaber. FOLD var det danske bud i 2012 og erfaringerne danner nu grundlag for deltagelse i 2014

Af Bjarne W. Olesen og Ongun Berk Kazanci, Center for Indeklima og Energi, DTU

I 2011 blev Danmarks Tekniske Universitet (DTU) udvalgt til at deltage i Solar Decathlon Europe 2012 og deltog i konkurrencen med huset "FOLD". DTU er også blevet udtaget til at deltage i næste konkurrence i 2014 i Frankrig.

Konkurrencen kan beskrives som følgende: "Solar Decathlon er en international konkurrence startet og organiseret af U.S. Energi Ministeriet, hvor universiteter fra hele verden mødes for at designe, bygge og styre et energirigtigt selvforsynende hus, tilsluttet nettet, hvor sol er den eneste energikilde. Huset er udstyret med teknologier som medfører maksimum energi effektivitet" (Solar Decathlon, 2012).

Konkurrencen har 10 kategorier (Decathlon). Hver kategori giver forskellige point. Følgende liste viser alle kategorier og tilhørende maksimum point:

1. Arkitektur (120 p)
2. Ingeniørarbejde og konstruktion (80 p)
3. Energieffektivitet (100 p)
4. El-balancen (120 p)
5. Komfort betingelser (120 p)
6. Husets funktioner (120 p)
7. Kommunikation og social bevidsthed (80 p)

8. Industrialisering og salgbarhed (80 p)
9. Innovation (80 p)
10. Bæredygtighed (100 p)

Holdet der kommer tættest på de maksimale opnåelige point (1000 point) vinder konkurrencen. Pointene er alt efter kategori givet på basis af målinger eller jury evalueringer.

Beskrivelse af huset

FOLD's arkitektonisk koncept er et design, der naturligt omfavner mennesket, tilpasser sig til det geografiske sted og deler overskydende energi med andre. Huset er designet til at have et minimalt varme-kølebehov samtidig med en maksimum udnyttelse af sol energien ved en optimal placering og hældning af PV/T panelerne, som er integreret i og dækker hele taget (se



Figur 1: Sydvestside (Team DTU)

figur 1). Husets største glasfacade er under konkurrencen i Madrid i september 2012 orienteret mod nord (figur 2) og taget hælder 19° mod Vest.

Huset bygges af letvægt kombineret træ-isoleringsselementer (figur 3). Da huset først blev opbygget på DTU og senere trans-

porteret til Madrid er vægge, tag og gulv lavet ved at samle præfabrikeret elementer. Glasfacaderne mod Nord og Syd monteres efterfølgende og samlingerne mellem vinduesrammerne og de præfabrikeret elementer tætnes. Figur 3 viser opbygningen af tagkonstruktionen. Øverst er PV/T panelerne, som er en kombination af PV-celler med vandbåret køling på bagsiden for at opretholde el-produktionen ved høje temperaturer og opsamle termisk solenergi. Selve træelementerne, som også blev brugt i vægge og gulv, består af ca. 25 cm almindelig mineraluld og 2x5cm højtisolerende aerowolle. Paneler med integrerede pex-rør er placeret på loftet og også i gulvet til opvarmning og køling. Endeligt er der et lille ovenlysvindue i taget for at understøtte naturlig ventilation. Overflade



Figur 2: Nordside (Team DTU)

► Bæredygtig...

Fortsat

arealer og U-værdierne kan ses i Tabel 1.

Tagudhænget dækker glasfacaderne mod Nord og Syd således, at direkte solstråling til huset elimineres om sommeren. Om vinteren vil den direkte solstråling gå ind i huset og øge gratisvarmen. Den eneste aktive solafskærmning der er installeret, er ved ovenlys vinduet.

Huset består af et stort åbent rum som kombinerer køkken, stue og soveværelse. Bad og toilet er delvist separate. Det tekniske rum er isoleret fra selve huset med separat indgang fra det fri. Væggen mellem teknikrummet og indenfor er isoleret med sammen isoleringstykkelse som de udvendige vægge. Teknikrummet er delvist eksponeret til udeluftens temperaturer på grund af implementering af



Figur 3: Opbygning af tagkonstruktionen med PV/T, isolering, loftpaneler med Pex-rør og et ovenlysvindue.

- Lufttemperatur i huset: 23,0 til 25,0 °C
- Relativ luftfugtighed i huset: 40 til 55 %
- Maksimal CO₂ koncentration i huset: 800 ppm

For at designe HVAC systemet var det nødvendigt at beregne opvarmnings- og kølingsbehovet. Design, temperaturer og respektive behov er følgende (indendørs gulvareal svarer til 66,2 m²):

let med solcellesystemet (PV), hvor det absorberer varmen fra solcellerne og tilfører den til varmtvandsbeholderen, dette gør det til en hybridløsning som kaldes PV/T, photovoltaic/thermal system.

Jorden fungerer som varmekilde/sink ved at udnytte den som varmeveksler via et borehul. Fri køling er muligt i kølingssæsonen, mens en jordvarmepumpe bruges i opvarmningssæsonen. Jordvarmeveksleren var designet til at være et borehul bestående af en enkel U-tube konfiguration med en dybde på 120 meter og en diameter på 0,12 m.

Opvarmning og kølesystemer i huset er vandbårne (integrerede pex-rør i gulvet og i loftet), med lav temperatur opvarmning og høj temperatur køling koncept. Under kølebehov bruges først loftsystemet og er der yderligere brug for køling også gulvet. Opvarmning foregår i omvendt prioritering.

Detaljerne omkring det kølevarme panelerne følgende:

- Loftet: skumplade system med aluminium varmekorelingspladerne og PEX rør 12x1,7 mm. I alt er der seks kredse i loftet, med maksimum strømhastighed i en kreds på 0,07 m³/h.
- Gulvet: spånplade system med aluminium varmekorelingspladerne og PEX rør 17x2,0

mm. I alt er der fire kredse i gulvet, med maksimum strømhastighed i en kreds på 0,07 m³/h for køling og 0,15 m³/h for opvarmning.

PV/T panelerne er designet til at producere el (nominal el effektivitet på 15,73 %) og bidrage samtidig med varme til huslige opgaver og huslige apparater såsom, opvaskemaskine, vaskemaskine og tørretumbler. PV/T arealet (67,8 m²) er opdelt i to, Del A (45,4 m²) og Del B (22,4 m²) for at have forskellige betjeningsstrategier. Part A skal kun levere varme til varmtvandsbeholderen. Part B skal levere varme til varmtvandsbeholderen og køle PV/T panelerne. Når der er brug for varmtvand leverer også Part B varme til varmtvandsbeholderen. Køling af PV/T via jorden er kun muligt, når huset ikke har brug for rumkøling. Det er en tilbageløbstank mellem PV/T kredsene og varmtvandsbeholderen i stedet for brug af frostsikervæske.

Varmtvandsbeholderen (180 liter) har to spiral varmeveksler og en el-varmer. En af spiralvarmevekslerne er forbundet til PV/T kredsene via tilbageløbstanken og den anden er forbundet til det aktive varmegenvindingssystemet i luftbehandlingsaggregatet. Den øverste del af varmtvandsbeholderen (54 liter) er om nødvendigt opvarmet ved hjælp af el-varmer (1,5 kW).

Mekanisk og naturlig ventilation gør det muligt at regulere luftkvalitet i huset. Fordelingssystemet består af to indblæsninger og fire udtræk (via emhætten, badeværelset, toilettet og tørretumbleren). Maksimum luftstrømhastighed fra luftbehandlingsaggregatet er 320 m³/h svarende til 1,5 ach.

Luftbehandlingsaggregatet har to varmegenvindingssystemer: passiv (krydsvarmeveksler) og aktiv (vendbar varmepumpe koblet med varmtvandsbeholderen). Det er muligt at have mere kontrol over komfort parametrene med mekanisk ventilation, men denne strategi forbruger energi, derfor er det muligt at

Udvendige vægge	Syd	Nord	Øst	Vest	Gulv	Loft
Areal [m ²]	-	-	19,3	37,2	66,2	53
U-værdi [W/m ² K]	-	-	0,09	0,09	0,09	0,09
Vinduer	Syd	Nord	Øst	Vest	Gulv	Loft
Areal [m ²]	21,8	36,7	-	-	-	0,74
U-værdi [W/m ² K]	1,04	1,04	-	-	-	1,04
Transmittans	0,3	0,3	-	-	-	0,3

Tabel 1: Specifikation af husets konstruktioner (Kazanci & Skrupskelis, 2012)

en naturlig ventilationsstrategi. Disse foranstaltninger er lavet for at begrænse varmetilskuddet fra elektronisk udstyr i teknikrummet til huset.

Design af HVAC systemet og kontrolstrategi

Design betingelser og designstrategi kræver, at huset skal kunne fungere i to forskellige klimaer: København og Madrid. Krav til indeklimaet er specificeret af organisationen:

- Sommer, maksimum 40,0°C 52,0 W/m² (køling)
- Sommer, gennemsnit 26,0°C 35,2 W/m² (køling)
- Vinter, minimum -12,0°C 45,6 W/m² (opvarmning)
- Vinter, gennemsnit 2,6°C 26,6 W/m² (opvarmning)

Husets eneste energikilde er solenergi, konverteret til el af solceller, som er placeret på hele taget. El-systemet er designet til at være tilsluttet nettet. Det termiske solvarmesystemet er kob-

► Bæredygtig...

Fortsat

spare energi, når de udendørsforhold er fordelagtige til naturlig ventilation. Naturlig ventilation er muligt via to vinduer i nord- og sydfacader og det styrede ovenlysvindue.

De forskellige dele af husets installationer blev samkoordineret ved hjælp af et overordnet kontrolsystem via en ipad. Der blev samtidig givet oplysninger til brugeren omkring forbrug via en ipad.

Husets virkningsgrad

Simulationer blev lavet for at evaluere husets årlige virkningsgrad. Resultater kan ses i Tabel 2:

Resultater for lufttemperatur, relativ luftfugtighed og luftkvalitet i konkurrencen (17. september til 28. september 2012) kan ses i følgende fig. 4 til 6:

Det skraverede areal i fig. 4-6 viser de tilladte grænser. Målinger var optaget hele døgnet med et tidsinterval på 15 min, dog var den pointgivende måling fra 21:00 til 06:00 og fra 10:00 til 16:00. Resten af tiden var huset åbent for besøgende og derfor var målingerne i denne tidsperiode ikke medregnet i den endelige scoring.

El-balancen for huset ses i fig. 7.

Diskussion og konklusion

Designfasen var en iterativ proces med kontinuerlige intern og ekstern feedback. Hver komponent var designet på en måde, med givne fysiske og praktiske begrænsninger, så optimal virkningsgrad opnås. Dog blev det erfaret, at det ikke er nok med kun et komponent som virker optimalt, men at samspillet mellem alle komponenter i systemet er det vigtigste. For at dette kunne opnås kræ-

Forbrug [kWh/m ²] / Sted	København	Madrid
Opvarmning	31,6	20,7
Køling	0,5	1,0
Ventilation	0,7	5,2
Varmtvand	7,3	3,8
Resten af el forbrug	5,6	4,4
Total el forbrug	45,6	35,1
Totalt primært energiforbrug	114,1	105,2
Total energi balancen (el)	66,7	137,0

Tabel 2: Husets energiforbrug (resultater fra TRNSYS) (Kazanci & Skrupskelis, 2012)



Foto: Michael Barrett Boesen

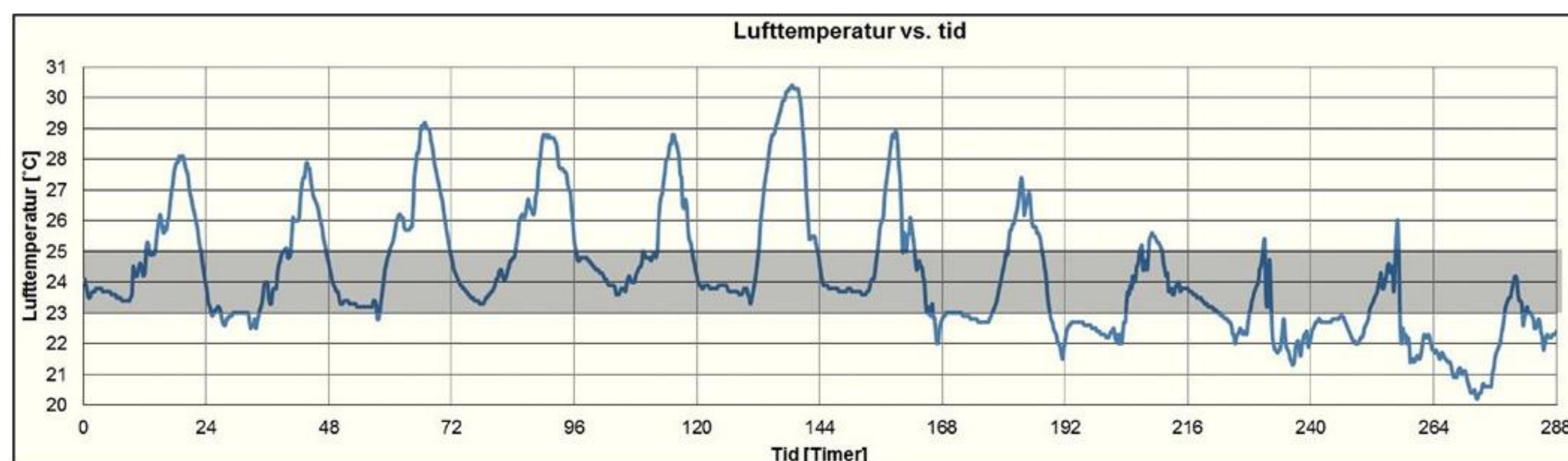
Bæredygtig...

Fortsat

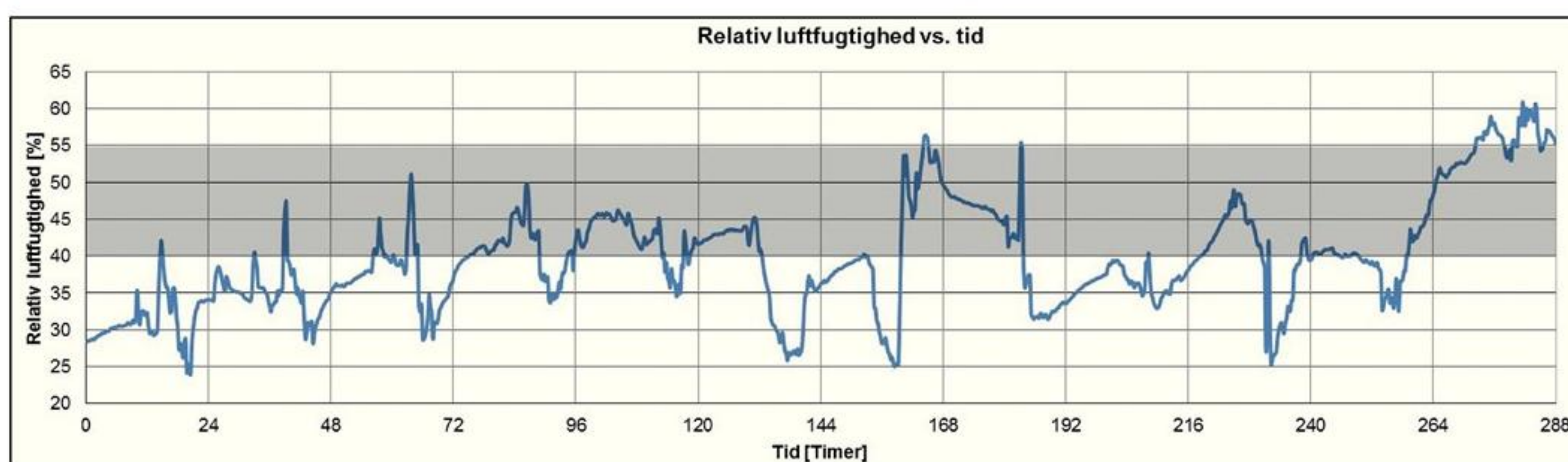
vede det en holistisk tilgang til designprocessen. Resultaterne af simuleringer viser at huset fungerer som et "plusenergi hus". For begge placeringer, det højeste energiforbrug er til opvarmning af huset. Dette er på grund af de store glasfacader mod nord og syd. Denne konstruktion er måske optimal for dagslysforhold og rumlig oplevelse; men ikke særlig energieffektiv. Fri køling virker som forudsagt for begge steder f. eks. i Madrid, er det muligt at spare 92 % af elektriciteten som en repræsentativ kølemaskine ville forbruge med samme kølingseffekt.

Integrerede pex-rør i loft og gulv er en energieffektiv måde at opvarme og køle bygningen, primært på grund af lav temperatur opvarmning og høj temperatur køling konceptet der gør muligt at integrere naturlige ressourcer som jorden i dette tilfælde. PV/T paneler gør det mulig for huset at være selvforsynede og at producere mere el, end der forbruges. PV/T paneler leverer en stor del af varmen til det huslige forbrug.

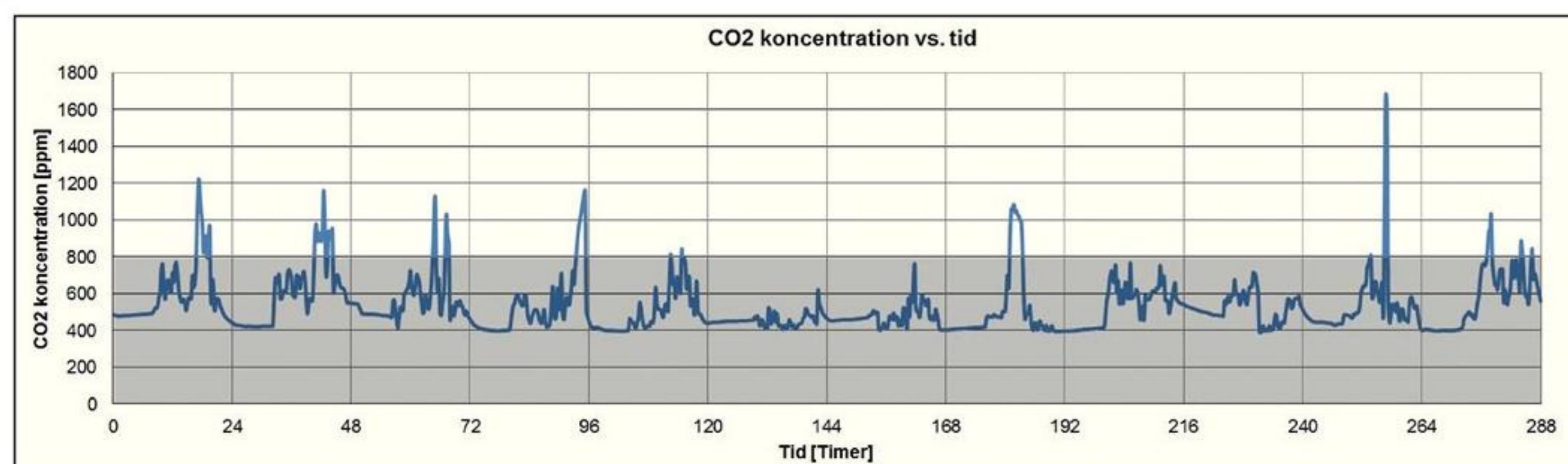
For opgaverne relateret til HVAC i kategorien, komfortbetingelser, blev der opnået følgende resultater med maksimalt muligt i parentes, 63,18(70), 8,37(10) og 4,91(5) point respektive for temperatur, relativ luftfugtighed og CO2 niveau (Solar Decathlon Europe, 2012). Resultaterne viser at det designede HVAC system fungerede succesfuldt. DTU vil også deltage i Solar Decathlon Europe 2014 med et nyt hus, mens FOLD vil blive brugt som fuldskala forsøgsfacilitet for at optimere de allerede



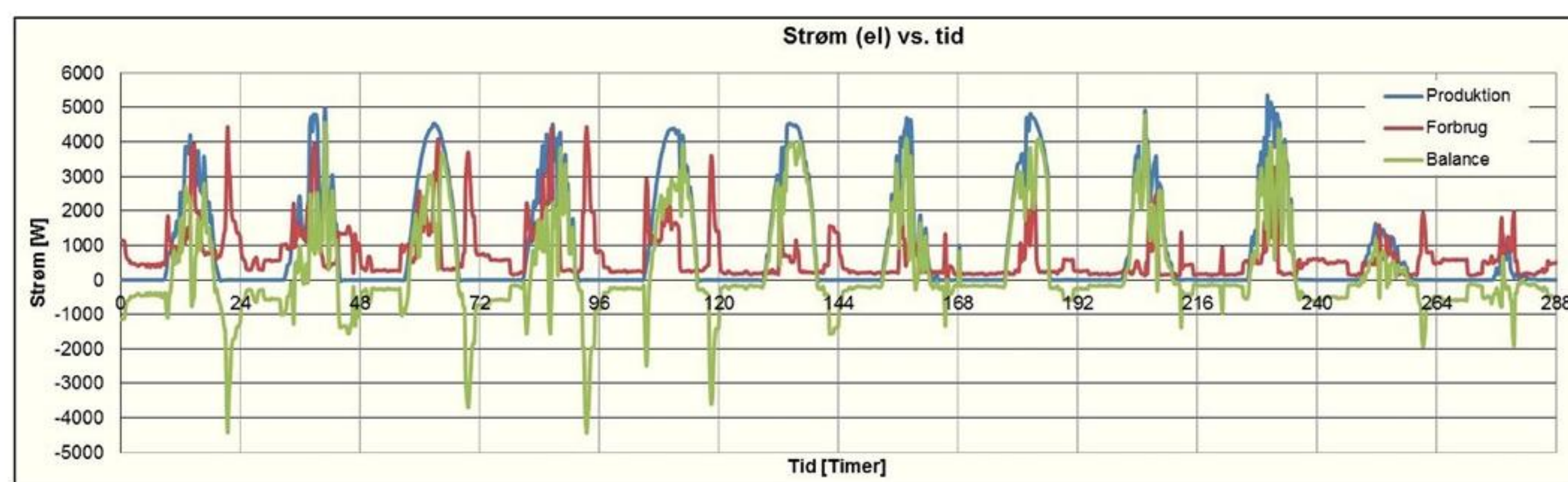
Figur 4: Indendørs lufttemperatur (Solar Decathlon Europe, 2012)



Figur 5: Relativ luftfugtighed (Solar Decathlon Europe, 2012)



Figur 6: CO2 koncentration (Solar Decathlon Europe, 2012)



Figur 7: El balancen (Solar Decathlon Europe, 2012)

installerede systemer og lave yderligere forsøg med forskellige opvarmnings-/kølesystemer. Erfaringerne opnået fra konkurrencen i 2012 og erfaringerne opnået fra yderligere forsøge vil vise vejen for designet af HVAC systemet i det næste hus, som skal bygges til konkurrencen i 2014. DTU teamet takker vore hovedsponsorer Grundfos, Dansk Energi, RealDania, Rockwool, Uponor og Schneider-Electric

samt en lang række firmaer der leverede produkter og vejledning.

Referencer:
Solar Decathlon. (2012). Solar Decathlon Europe 2012, Rules, V.4.0.
Solar Decathlon Europe. (2012). SOLAR DECATHLON EUROPE-Monitoring. Hentet September 30, 2012, fra Pagina oficial del Solar Decathlon Europe. Com-

peticion de casas autosuficientes impulsadas con energia solar: <http://monitoring.sdeurope.org/index.php?action=view&view=S5&house=10>
Team DTU. (2012). Architectural Narrative. Technical University of Denmark.
O. B. Kazanci, M. Skrupskelis. (2012). Solar Sustainable Heating, Cooling and Ventilation of a Net Zero Energy House. Master Thesis, Technical University of Denmark.